



Dispositivi di intercettazione e scarico

MODELLO FISICO DELLA DIGA DI LEVANE (AR)

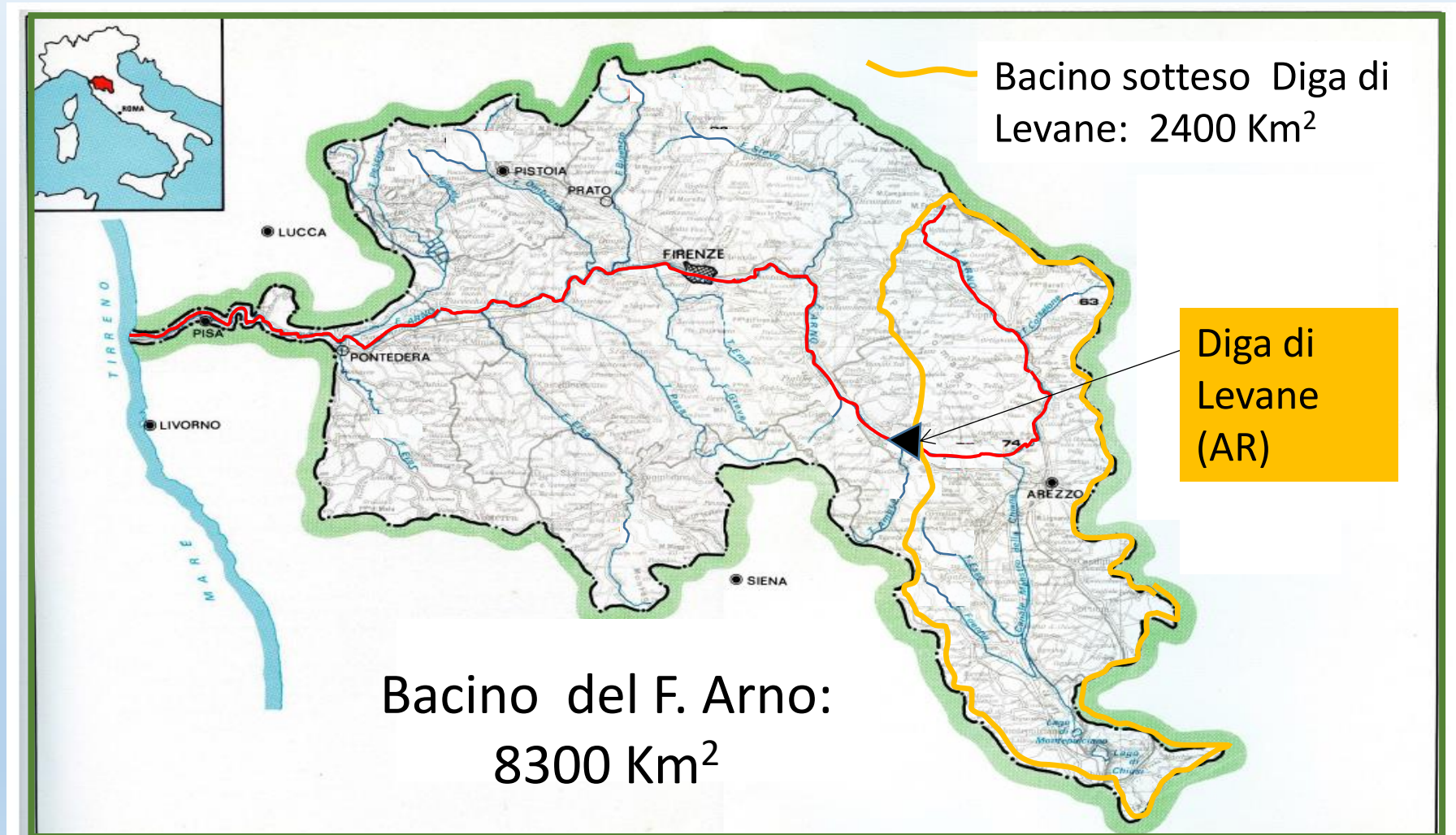
Enio Paris¹, Sara Gabbrielli², Lorenzo Lotti¹

1) *Università di Firenze*

2) *Enel Green Power*

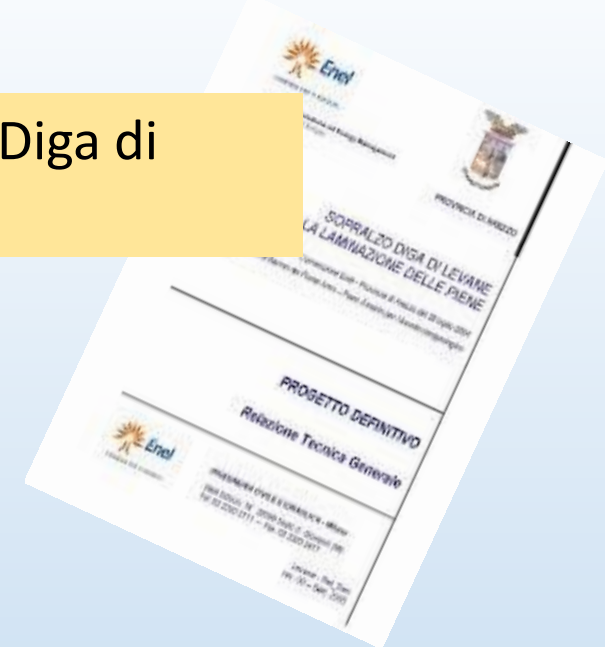
Webinar 23 e 24 Marzo 2021

IL PIANO DI BACINO DEL FIUME ARNO, approvato nel 1999, prevedeva, tra le misure strutturali per la riduzione del rischio idraulico, la sopraelevazione della diga di Levane (AR)



Nel 2015 Enel redige il progetto definitivo del sopralzo della Diga di Levane

Nel 2020 si concludono le prove su modello fisico della Diga di Levane finalizzate alla verifica del progetto di sopralzo



IN PARTICOLARE: nelle condizioni di progetto è stata verificata la capacità di scarico delle due luci sfioranti presidiate da paratoie piane





il prototipo



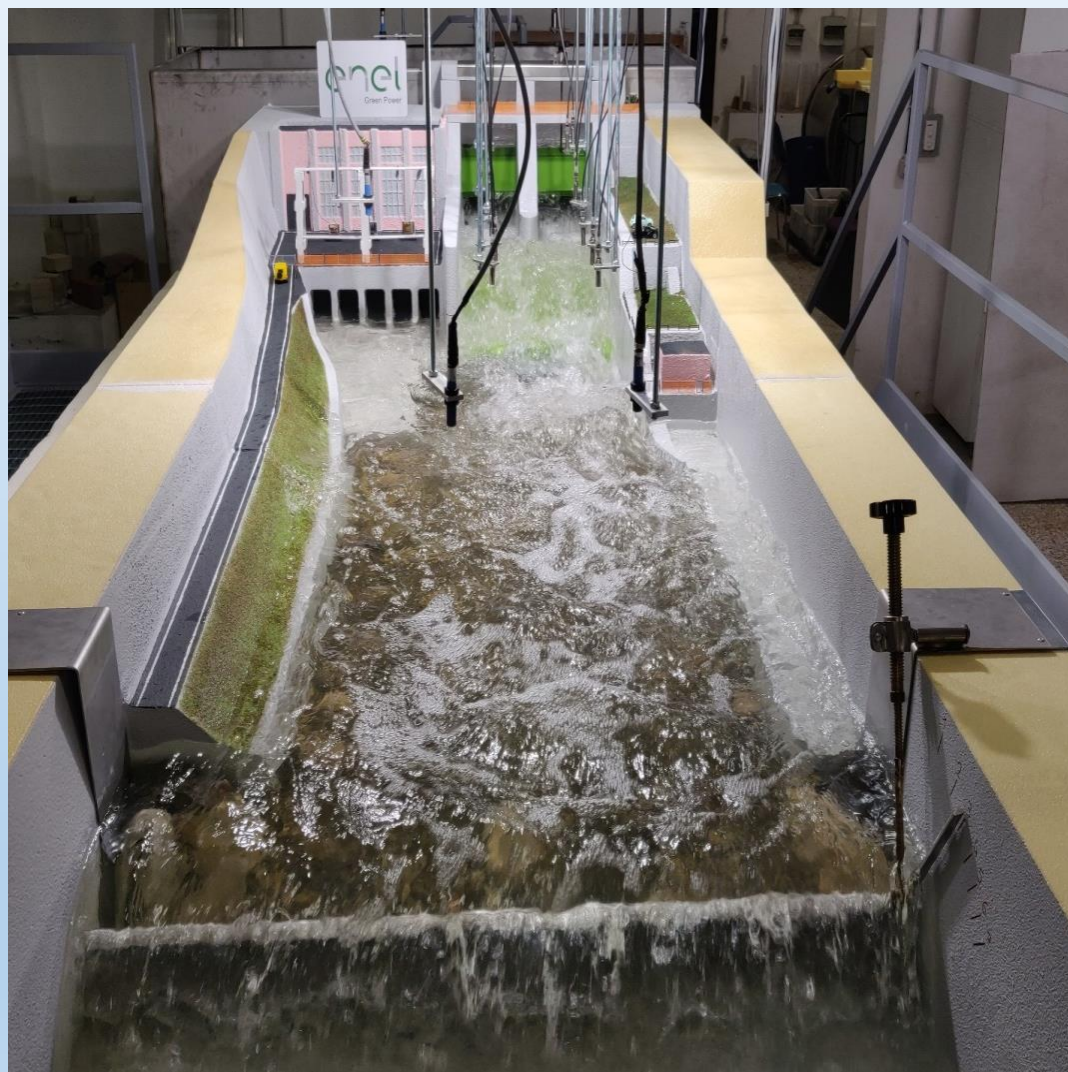
.... il modello
fisico



Similitudine di Froude, SCALA 1:60



Il modello fisico visto da valle



GLI OBIETTIVI DELLA SPERIMENTAZIONE SU MODELLO FISICO

- determinare i coefficienti di efflusso dalle paratoie ovvero la capacità esitativa degli scarichi individuando l'apertura necessaria per il transito delle portate di riferimento, fermo restando il massimo livello d'invaso di progetto (172 msm);
- verificare l'adeguatezza della vasca di dissipazione (tipologia, lunghezza, altezza muri d'ala) al contenimento della corrente turbolenta;
- individuare l'altezza idrica a valle (necessaria per le verifiche di stabilità del corpo diga e valutare eventuali effetti di rigurgito).

LA DEFINIZIONE DELLE LEGGI DI EFFLUSSO DALLE PARATOIE

- Il progetto di sopraelevazione è finalizzato alla mitigazione del rischio idraulico nei territori posti a valle della diga.
- Di fondamentale importanza è la corretta gestione delle paratoie per massimizzare la laminazione dell'onda di piena utilizzando il nuovo volume di invaso (circa 10 Mmc) che si ottiene con il sopralzo.
- A tal fine è necessario disporre di **affidabili leggi di efflusso** valide in tutto il campo di operatività degli scarichi di superficie che si può estendere con continuità dal **funzionamento a battente** a quello di **stramazzo** passando attraverso uno stadio intermedio di **transizione**.

DI SEGUITO VERRANNO MOSTRATI I
RISULTATI SPERIMENTALI RELATIVI ALLA
CAPACITA' DI SCARICO DELLE LUCI
SFIORANTI CON FUNZIONAMENTO:

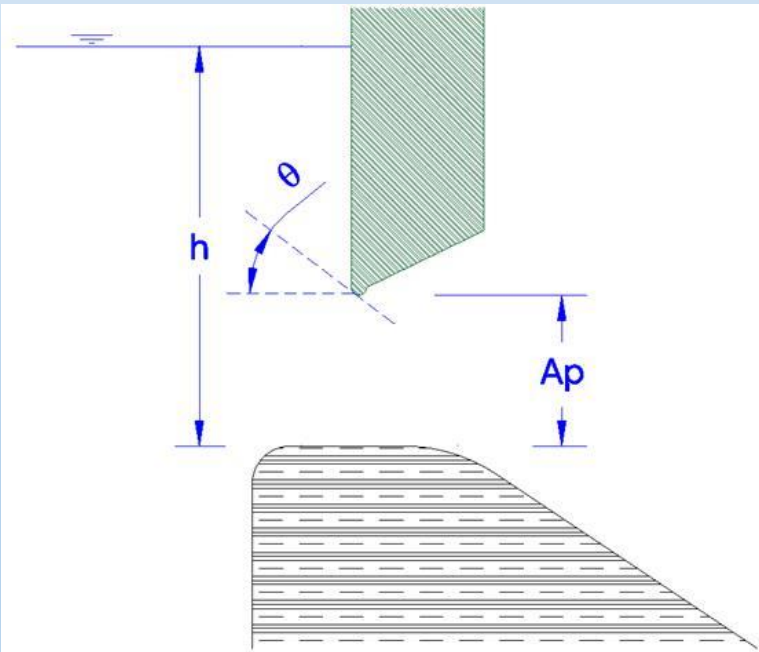
- 1) A BATTENTE**
- 2) A STRAMAZZO**
- 3) DI TRANSIZIONE**

**Dal punto di vista teorico
non esistono leggi fisicamente basate
che permettono di descrivere
il funzionamento delle luci di scarico
nel campo della transizione**

Funzionamento a Battente

L'equazione seguente si ricava sotto l'ipotesi di carico costante sulla luce A_p

$$Q = \mu_b A_p \sqrt{2g \left(h - \frac{A_p}{2} \right)}$$



Gentilini (1941) ha mostrato con prove sperimentali che il coefficiente di deflusso μ_b dipende sia dal rapporto A_p/h sia dall'angolo θ che il piano tangente alla paratoia in corrispondenza del bordo della luce forma con l'orizzontale.

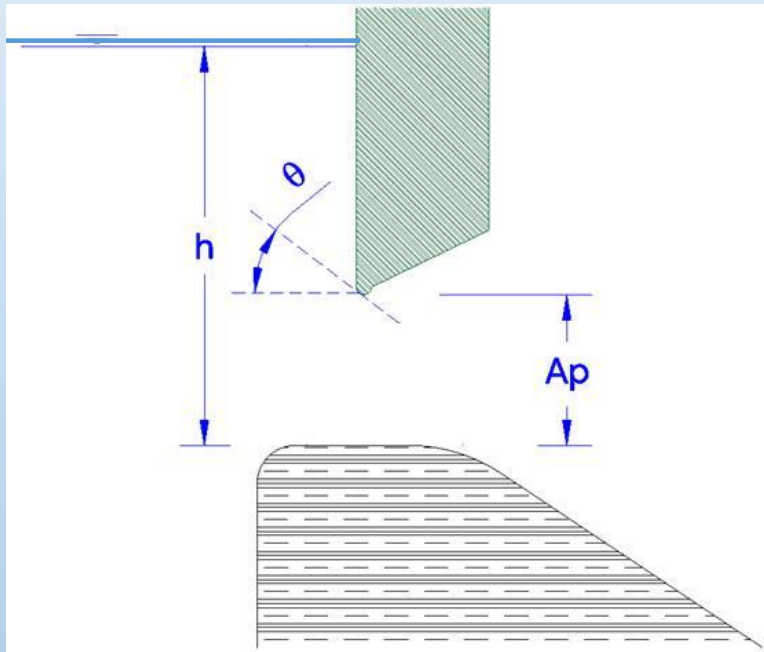
Funzionamento a Battente

$$Q = \mu_b A_p \sqrt{2g \left(h - \frac{A_p}{2} \right)}$$

Un'interpolazione dei risultati sperimentali di Gentilini è fornita da Cozzo (1978) valida per $A_p/h < 0.5$:

$$\mu_b = \frac{0.46 + 0.54e^{-0.8\vartheta}}{1 + \frac{A_p}{h} (0.6 - 0.2\vartheta)}$$

Per paratoia piana verticale ($\vartheta = \pi/2$) e valori di $A_p/h \rightarrow 0$, l'equazione tende al valore teorico $\mu_b = \mathbf{0.61}$

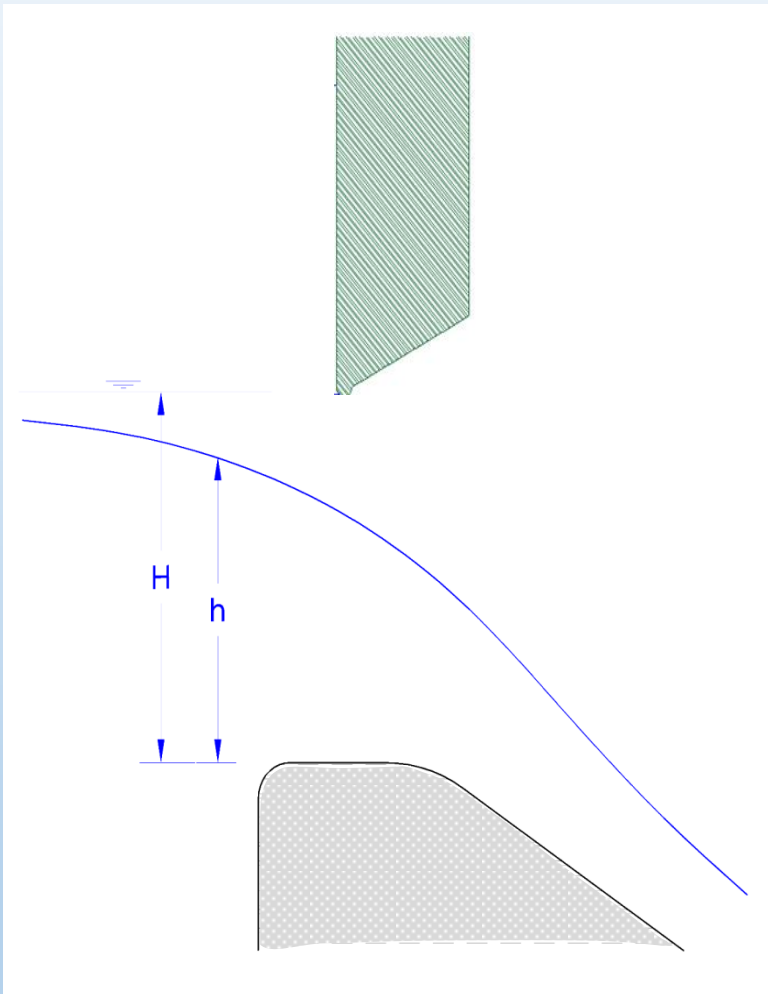


Cozzo G., *Una formula per il calcolo del coefficiente di deflusso sotto paratoie*, «L'Energia Elettrica», N. 11-12, 1978.

Funzionamento a Stramazzo

(sollevamento totale delle paratoie)

$$Q = \mu_s L h \sqrt{2gh}$$



Per stramazzo in parete grossa, il coefficiente di deflusso μ_s assume il valore teorico 0.385.

Valori maggiori si ottengono in funzione della sagomatura della soglia sfiorante.

Funzionamento di transizione

Per la gestione delle portate scaricate durante gli eventi di piena è necessario conoscere, oltre alle relazioni per il deflusso a battente e a stramazzo, la relazione che descrive la **zona di transizione, cioè il passaggio** tra il funzionamento a battente e il funzionamento a stramazzo quando si ha il sollevamento totale delle paratoie.

Per **funzionamento di transizione** si intende quella condizione di deflusso che si verifica quando il sollevamento della paratoia è tale che il suo bordo inferiore tende ad interferire, anche in modo intermittente, con la corrente effluente in modo tale da non rendere ben definito il comportamento a stramazzo o quello a battente.

Rientra in questa definizione anche la condizione di deflusso per la quale il carico e la velocità di efflusso non possono essere considerati costanti sulla luce, quando cioè il rapporto $A_p/h > 0.5$

Funzionamento di transizione

IL CARICO SULLA LUCE E IL COEFFICIENTE DI CONTRAZIONE
NON POSSONO ESSERE CONSIDERATI COSTANTI

L'equazione che si ricava in base alla ipotesi di Poleni (costanza del coefficiente di deflusso/contrazione) appare la più idonea a descrivere il funzionamento di transizione:

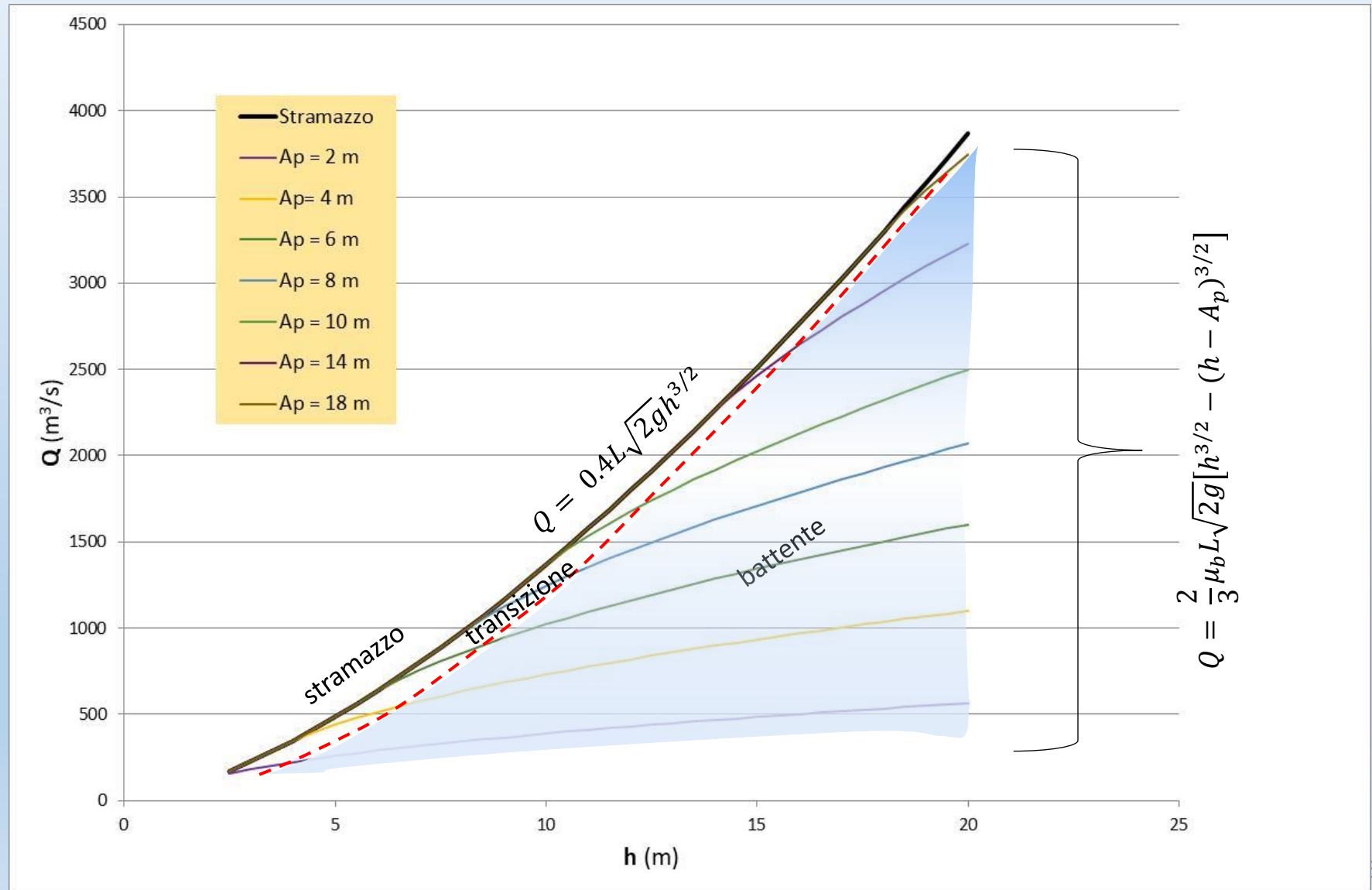
$$Q = \frac{2}{3} \mu_b L \sqrt{2g} [h^{3/2} - (h - A_p)^{3/2}]$$

Tale equazione tende, per **$A_p \rightarrow h$** (sollevamento totale), all'equazione dello stramazzo:

$$Q_{A_p \rightarrow h} = \frac{2}{3} \mu_b L \sqrt{2g} [h^{3/2} - (h - A_p)^{3/2}] \longrightarrow Q = 0.4 L \sqrt{2g} h^{3/2}$$

mentre nel campo $0 < A_p < h$ risulta fornire valori in accordo con l'equazione classica del deflusso a battente.

Legge di stramazzo e Equazione di Poleni: curve teoriche per $\mu_b = 0.61$



Le prove sperimentali

SONO STATI REALIZZATE **83** PROVE SPERIMENTALI NEI SEGUENTI CAMPI:

Q : 8 l/s - 118 l/s

h : 50 mm - 320 mm

Ap : 33 mm - 333 mm

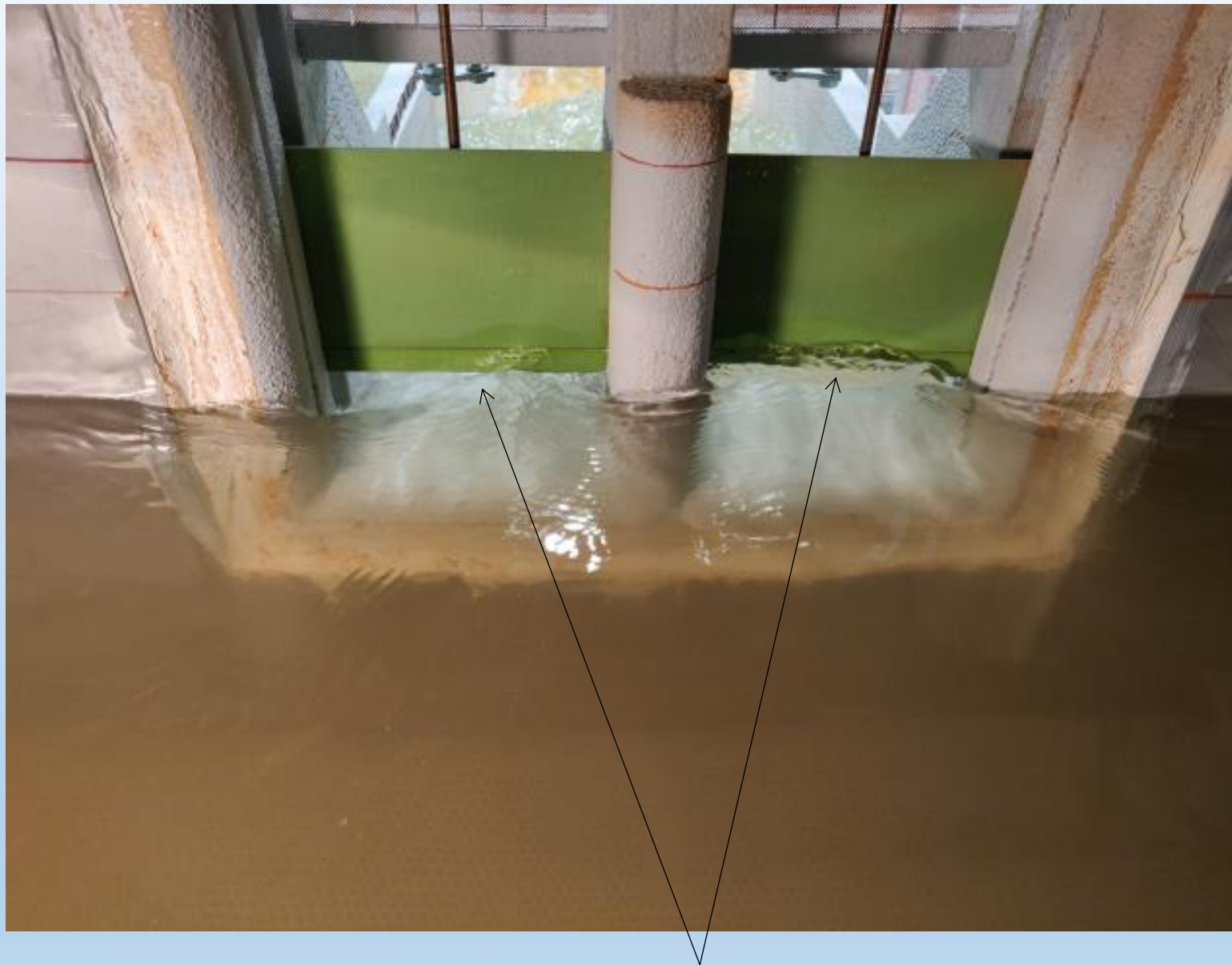
di cui:

- 28 Con funzionamento a stramazzo
- 29 Con funzionamento a battente
- 26 Con funzionamento di transizione

CONDIZIONE DI DEFLUSSO A STRAMAZZO (assenza di interferenza)

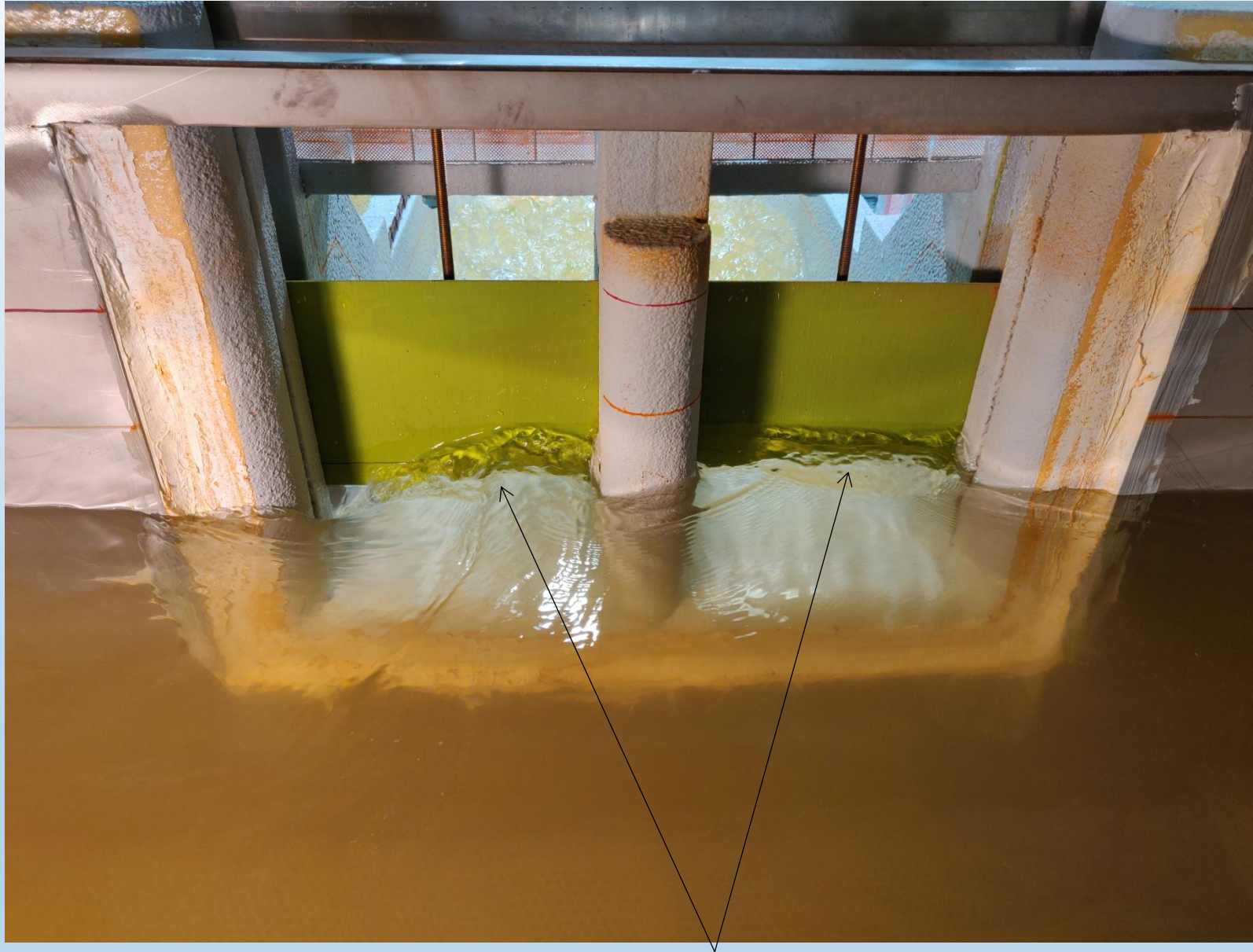


EFFLUSSO DI TRANSIZIONE NELLE PROVE SPERIMENTALI



CONDIZIONE DI MODERATA INTERFERENZA

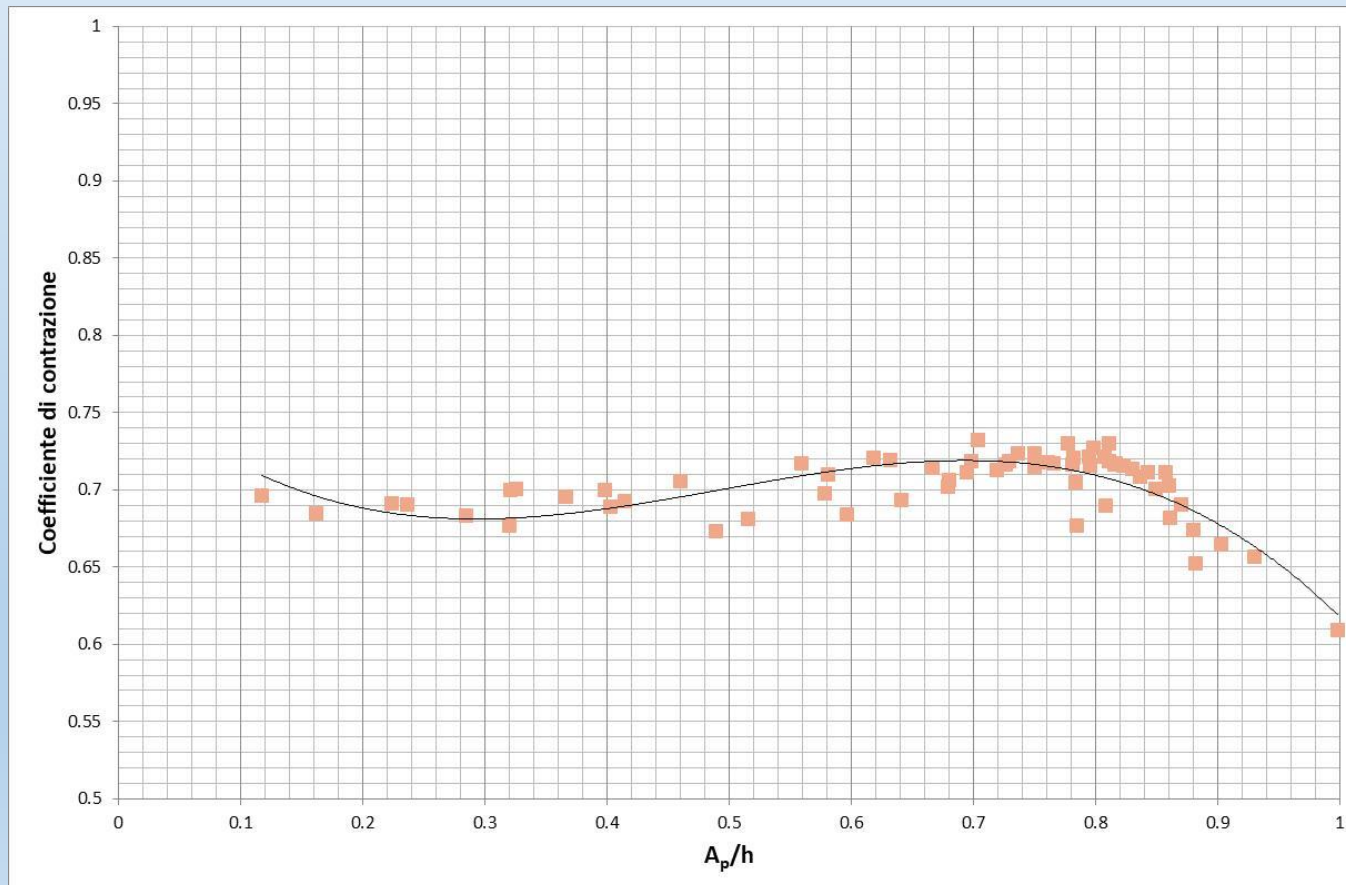
EFFLUSSO DI TRANSIZIONE NELLE PROVE SPERIMENTALI



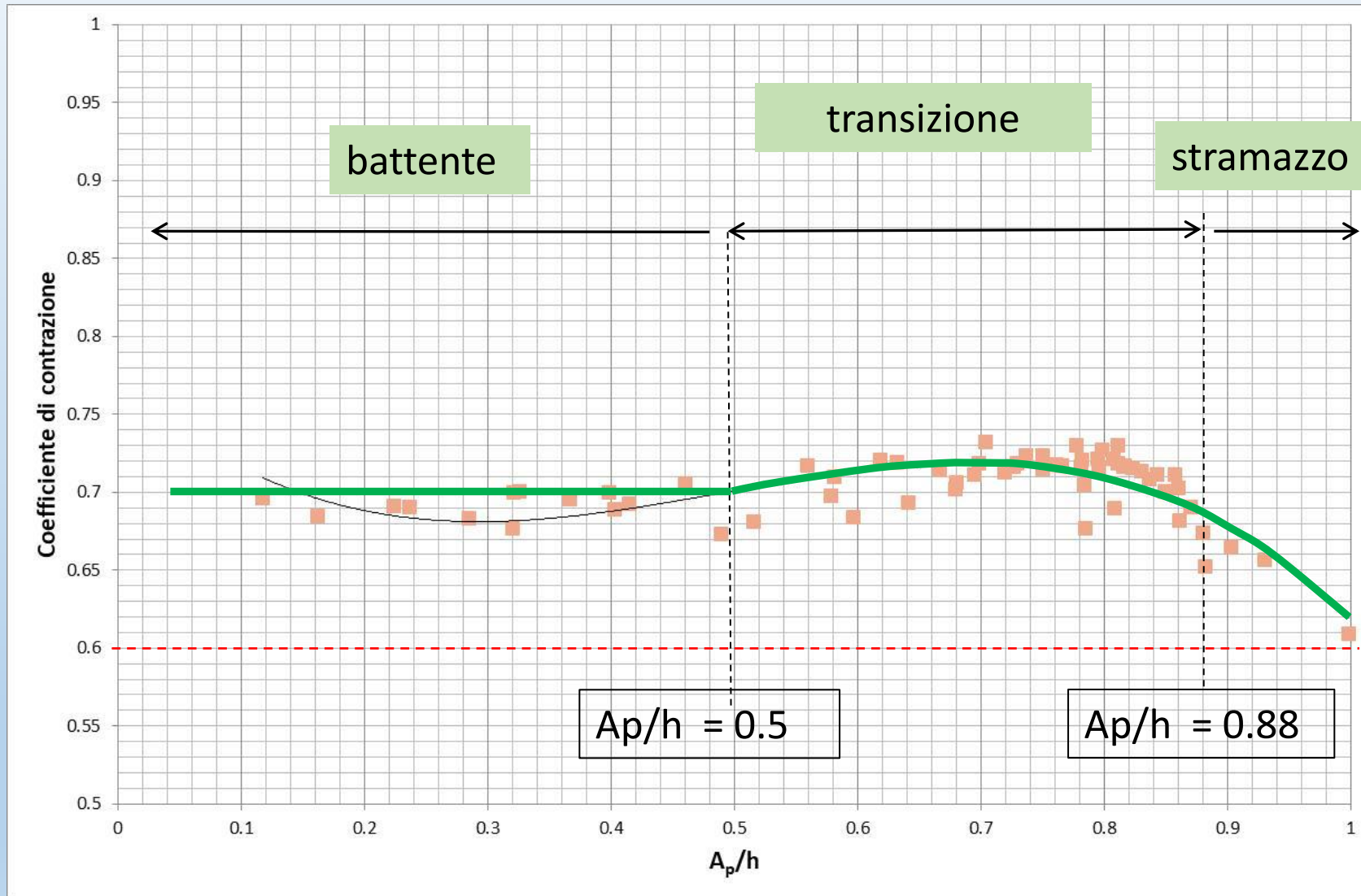
CONDIZIONE DI ACCENTUATA INTERFERENZA

L'analisi dei dati

Utilizzando i dati sperimentali relativi alle prove con funzionamento a battente e di transizione, è stato analizzato il **coefficiente di deflusso** (contrazione) μ_b che è risultato funzione del solo parametro di apertura relativa A_p/h



Il coefficiente di deflusso/contrazione nelle diverse condizioni di funzionamento



I risultati ottenuti **dall'equazione di Poleni**:

$$Q = \frac{2}{3} \mu_b L \sqrt{2g} [h^{3/2} - (h - A_p)^{3/2}]$$

insieme alla curva interpolante il coefficiente di deflusso/contrazione μ_b :

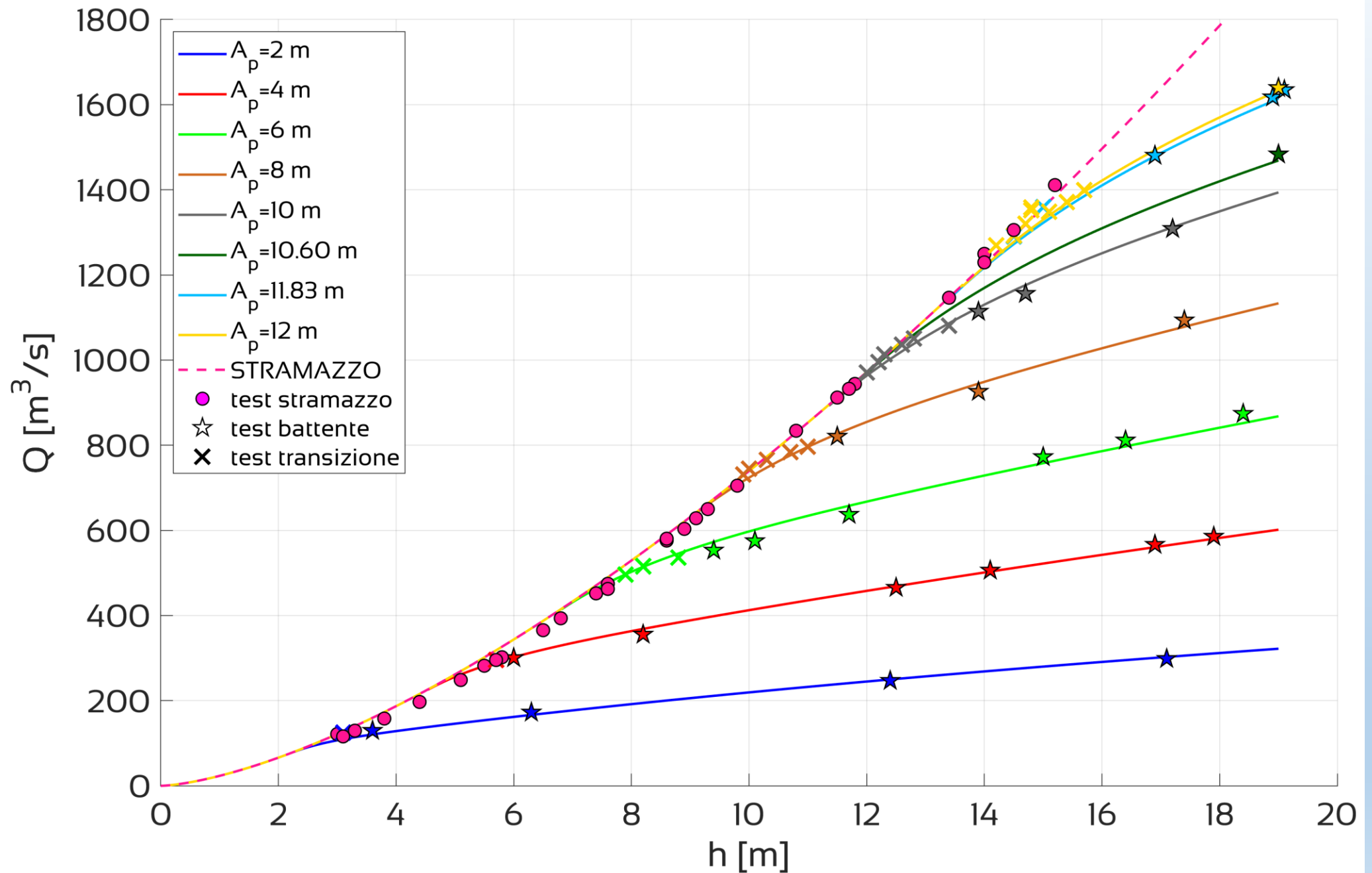
$$\mu_b = -1.183 \left(\frac{A_p}{h} \right)^3 + 1.750 \left(\frac{A_p}{h} \right)^2 - 0.721 \left(\frac{A_p}{h} \right) + 0.772$$

sono stati messi a confronto con i dati sperimentali relativi al funzionamento a **battente** e di **transizione**

I dati relativi al funzionamento a **stramazzo** sono stati messi a confronto con l'equazione:

$$Q = 0.44 L \sqrt{2g} h^{3/2}$$

CONFRONTO DATI SPERIMENTALI E VALORI CALCOLATI



CONCLUSIONI

- ✓ La realizzazione del modello fisico della diga di Levane ha permesso la verifica del progetto di sopralzo
- ✓ Gli attuali coefficienti di efflusso, derivanti dal modello fisico del 1955, risultano verificati nelle condizioni di scarico a stramazzo e a battente
- ✓ La capacità di scarico della diga nello stato di progetto risulta verificata
- ✓ Sulla base dei dati sperimentali è stata calibrata una relazione valida per la zona di transizione tra efflusso a battente e efflusso a stramazzo

GRAZIE



PER LA VOSTRA ATTENZIONE